

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2011

Václav Kadlec

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor: B2341 – Strojírenství

Zaměření: 2302R022 – Dopravní stroje a zařízení

**ANALÝZA A OPTIMALIZACE DIAGNOSTIKY
„HOTTESTU“ VOZIDLOVÉHO MOTORU
1,2 HTP NA MONTÁŽNÍ LINCE**

**ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF THE
DIAGNOSTIC OF „HOTTEST“ OF VEHICLE
ENGINE 1,2 HTP ON THE ASSEMBLY LINE**

Bakalářská práce

KVM – BP – 231

Václav Kadlec

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Petr Zahálka

Počet stran: 53

Počet obrázků: 17

Počet příloh: 2

Počet výkresů: 0

Květen 2011

Místo pro vložení originálu zadání BP

ANALÝZA A OPTIMALIZACE DIAGNOSTIKY „HOTTESTU“ VOZIDLOVÉHO MOTORU 1,2 HTP NA MONTÁŽNÍ LINCE

Anotace

Bakalářská práce se zabývá vlivy působícími na kvalitu motorů při jejich montáži u výrobce a hodnotí možnosti diagnostiky motorů na montážní lince. Konkrétní vyšetřování uvedených činností bylo prováděno na motoru 1,2 HTP na montážní lince motorů ve Škodě Auto v Mladé Boleslavi. Pozornost byla věnována zejména kontrolním operacím a testům motorů. Práce obsahuje hodnocení systému kontroly a zajištění kvality a návrhy na změny ve vybavení operace hottestu diagnostickou technikou pro zahrnutí dalších kritérií do hodnocení technického stavu nově vyrobeného motoru.

Klíčová slova: montáž motorů, testy motorů, kvalita montáže, diagnostika, hottest

ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF THE DIAGNOSTIC OF „HOTTEST“ OF VEHICLE ENGINE 1,2 HTP ON THE ASSEMBLY LINE

Annotation

This Bachelor thesis deals with the effects on the quality of the engine assembly and evaluates options of engines diagnostic on the assembly line. Concrete investigation of these activities was carried out on the 1,2 HTP engine on the engines assembly line at Skoda Auto in Mlada Boleslav. Particular attention was paid to checking operations and tests of engines. The thesis contains an evaluation of control and quality assurance system, and proposals of changes of diagnostic equipment of the Hottest-operation in order to include other criteria in the evaluation of technical state of a newly manufactured engine.

Keywords: engine assembly, engine testing, assembly quality, diagnostic, hottest

Desetinné třídění:

621.43.01 – Teorie spalovacích motorů

Zpracovatel:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno :

2011

Archivní označení zprávy:

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Jablonci nad Nisou dne 27. 5. 2011

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Stanislavu Berounovi, CSc., konzultantovi Ing. Petru Zahálkovi a zainteresovaným zaměstnancům Katedry vozidel a motorů FS TUL a společnosti Škoda Auto a.s. za odborné vedení, pomoc a cenné rady při vypracování bakalářské práce.



Obsah

Seznam pojmů a zkratk	8
Seznam veličin a jednotek	8
Úvod	9
1 Vliv kvality montáže na správnou činnost nepřepřlňovaného zážehového motoru s vnější tvorbou směsi	11
2 Systémy zajištění kvality ve výrobě motorů Škoda Auto	15
2.1 Montáž motorů 1,2 HTP	15
2.2 Nejdůležitější kontrolní operace na montážní lince	17
2.2.1 Kamerové kontroly	17
2.2.2 Kontroly na třecí moment	18
2.2.3 Zkoušky těsnosti	19
2.2.4 Kalttest	20
2.2.5 Elektrotest	21
2.2.6 Hottest	22
3 Moderní diagnostika pístových spalovacích motorů	23
3.1 Současné trendy v testování PSM	23
3.2 Technické možnosti moderní diagnostiky PSM	23
4 Motor 1,2 HTP	26
4.1 Problematická místa a závady ze servisní sítě	28
5 Hottest	29



6	Analýza systému kontroly a zajištění kvality	32
6.1	Proces spalování	33
6.2	Parametry mechanického charakteru	34
7	Návrh změn v diagnostice hottestu	36
7.1	Sledování spalovacího procesu	36
7.2	Zavedení vibrodiagnostiky	38
7.2.1	Teorie vibrodiagnostiky	38
7.2.2	Aplikace vibrodiagnostiky na hottest	41
7.2.3	Měření vibrací na motoru 1,2 HTP v laboratoři KVM	45
7.3	Význam hottestu pro dlouhodobé sledování kvality	47
8	Diskuse dosažených výsledků	48
9	Závěr	49
	Použitá literatura	50
	Příloha 1: Schéma pracoviště hottestu	52
	Příloha 2: Frekvenční spektrum získané měřením vibrací na motoru 1,2 HTP v laboratoři KVM	53



Seznam pojmů a zkratk

AGP	Accelerated Graphics Port
CPU	Central Processing Unit
ECU	Engine Control Unit, řídící jednotka motoru
EFT	End Funktion Test, výstupní funkční zkouška
FFT	Fast Fourier Transformation
HTP	High Torque Performance
Hottest	teplý test dokončeného motoru
I.O. / N.I.O.	In Ordnung / Nicht In Ordnung (je / není v pořádku)
Kalttest	studený test polomotoru
Lecktest	tlakový test těsnosti motoru
NVH	Noise, vibration and harshness
OBD	On-Board Diagnostic, palubní diagnostika
OHC	Overhead Camshaft
PSM	pístový spalovací motor
RAM	Random Access Memory
SVGA	Super Video Graphics Array
TSI	Turbocharger Stratified Injection
USB	Universal Serial Bus

Seznam veličin a jednotek

ε_k	kompresní poměr	[–]
f	frekvence, kmitočet	[Hz]
λ	součinitel přebytku vzduchu	[–]
M	točivý moment motoru	[Nm]
M_u	třecí moment při protáčení motoru	[Nm]
n	otáčky motoru	[min ⁻¹]
η_m	mechanická účinnost	[–]
p_{ol}	tlak motorového oleje	[MPa]
p_i	indikovaný tlak na píst	[MPa]
p_{max}	maximální tlak oběhu	[MPa]
\dot{p}_{ztr}	tlaková ztráta v čase (průtok)	[cm ³ /min]
P	výkon motoru	[kW]
t_{ol}	teplota motorového oleje	[°C]



Úvod

Pístové spalovací motory mají v dopravě zcela zásadní význam. Už více než 100 let tvoří optimální způsob převodu chemické energie paliva na energii mechanickou – pohyb. Za tu dobu zůstaly zachovány základní principy činnosti spalovacího motoru, drtivá většina konstrukce se však výrazně změnila. Díky zlepšování přesnosti výroby a preciznosti montáže i neustálému výzkumu nových materiálů a technologií se zlepšila odolnost, životnost a spolehlivost, a to (zejména v poslední době) při současném snižování hmotnosti a nárůstu výkonových parametrů i zlepšování ekonomičnosti a ekologie provozu, což jsou dohromady mnohdy protichůdné požadavky. V současné době se využívá postupu známého jako „downsizing“, to je zmenšování zdvihového objemu motoru a s tím spojený pokles hmotnosti díky menším rozměrům i využití moderních lehkých slitin a plastových dílů, a současně přepřínování motorů pro zachování výkonových parametrů, optimální hnací charakteristiku i splnění emisních předpisů. Hledají se možnosti dalšího snížení mechanických ztrát, a to i snížením počtu třecích ploch díky menšímu počtu válců.

Spalovací motor je složen z velkého množství dílů, u každého z nich je nutné zajistit výrobní přesnost a funkční spolehlivost. Při montáži jsou potom prováděny stovky strojních i ručních operací, a na většině z nich může dojít k nějaké chybě. Když jsou všechny díly smontovány na kompletním spalovacím motoru, může být riziko nefunkčnosti nečekaně vysoké, protože většina funkčních celků je řazena tzv. sériově, tedy tak, že selhání jednoho dílu má za následek nefunkčnost celého okruhu, nebo i motoru. Garantovat 100% kvalitu a funkční spolehlivost není tedy ani u nového motoru jednoduché.

Jak se zavádějí nejmodernější technologie – přímé vstřikování paliva, přepřínování, variabilní časování ventilů, proměnná délka sání, ekologické systémy typu „start-stop“ atd., jsou motory stále náchylnější na bezchybnost výroby a montáže. Ve výrobě jsou zavedeny komplexní systémy řízení jakosti, kdy za celkovou kvalitu výrobku zodpovídá vedení závodu nebo jeho části, avšak je kladen důraz na zodpovědnost a podíl každého pracovníka na výsledné kvalitě a jejím



neustálém zlepšování. Stejně však je nutné využívat mnoho systémů, které budou operace zajišťovat, a rovněž v toku montážní linky pravidelně rozmístěná zvláštní stanoviště tak, aby vždy po kompletaci určité části nového motoru byla ověřena nejen samotná správnost montáže, ale také požadovaná funkčnost.

Význam testů motorů ve výrobě je tedy nezastupitelný, ani vysoce moderní systémy řízení kvality nemusí být schopny zaručit funkčnost každého nového motoru. Náklady na testovací stanice však jsou značné, a u některých testů jsou nepříjemné i průvodní jevy, jako hluk, spotřeba paliva a emise, případně dlouhá doba testu nezapadající do taktu montážní linky.

Jelikož tedy není možné testy motorů z montáže vyřadit, je vhodné zabývat se jejich maximální efektivitou, aby se vynaložené náklady vrátily ve formě vyšší jakosti – menší poruchovosti, včasné identifikaci poruch a jejich prvotních příčin, snížení nákladů na reklamace, opravy a vícepráce.



1 Vliv kvality montáže na správnou činnost nepřepřehňovaného zážehového motoru s vnější tvorbou směsi

V průběhu montáže motorů dochází působením různých vlivů k možnému ovlivnění některých parametrů motoru, ať už vinou techniky, nebo lidského faktoru. Pro spokojenost zákazníka jsou některé parametry důležitější, jiné méně podstatné. Běžný zákazník od nového motoru očekává, že bude spolehlivě sloužit po většinu své plánované životnosti, nebude abnormálně vibrovat nebo hlučet a bude po celou dobu splňovat v rámci své třídy očekávané výkonové parametry. Je tedy dobré se co nejvíce přiblížit tomuto ideálnímu stavu.

Mechanická účinnost

Mechanická účinnost souvisí se ztrátami především vlivem tření, ztrátami při plnění a pro pohon příslušenství. Vliv má kvalita mazání a výrobní i montážní přesnost zpracování i kompletace všech dílů spalovacího motoru. Základem užitečného výkonu je užitečná práce, která vzniká z práce indikované snížené právě o mechanické ztráty. Ztrátový výkon je výkon nutný pro překonání pasivních odporů, v závislosti na konstrukci, kvalitě montáže, zatížení i dalších parametrech tvoří 10 až 15 % výkonu indikovaného.

Je-li potřeba mechanickou účinnost určit, lze toho docílit několika způsoby: měřením efektivního výkonu motoru a stanovením středního efektivního tlaku oběhu a středního indikovaného tlaku konkrétního motoru, nebo například zjištěním středního ztrátového tlaku na píst. [5, 10]

Mechanickou účinnost lze během montáže ovlivnit buď nesprávnými rozměry použité součásti v montážní skupině, nebo hrubým nedostatkem v montáži, tj. nedodržením technologického postupu montáže. Zásadní vliv na mechanickou účinnost je v oblasti uložení klikového mechanismu – pánve hlavních ložisek a axiální ložiska klikového hřídele. Pokud se použijí pánve v rozporu s velmi přesně naměřenými rozměry broušených ploch hlavních a ojnicích ložisek klikového hřídele, případně jsou pánve vadné, deformované nebo jinak neodpovídají konstrukčním požadavkům, změní se tlak v uložení, a tedy i moment potřebný k roztočení mechanismu. Podobně také axiální ložiska lze zaměnit, nebo mohou být poškozená, a opět se zvýší odpor v uložení. V případě vynechání axiálních ložisek



by měl klikový hřídel nepřípustnou axiální vůli; tuto závadu má odhalit stroj při kontrolní operaci ihned po montáži klikového hřídele s ložisky.

Těsnost olejového a chladicího systému

Mazací soustava je jedním z klíčových celků pro správnou funkci spalovacího motoru. Vysoká vzájemná rychlost pohybu některých dílů spalovacího motoru klade vysoké nároky také na mazání. Správným mazáním kvalitním olejem se dosahuje lepší účinnosti motoru, nižší hlučnosti a opotřebení a v konečném důsledku nižší měrné spotřeby paliva. Mazací olej také pomáhá chladit některá exponovaná místa spalovacího motoru. Jako mazacího media se využívají zvláštní motorové oleje, dnes už obvykle polosyntetické nebo plně syntetické, obohacené o aditiva dále zlepšující určité vlastnosti maziva. Tlak mazacího oleje je jedním z nejdůležitějších parametrů, ukazujících na správnost funkce důležitých celků motoru. Proto se nepřetržitě sleduje a v případě kolísání tlaku mimo určené meze (tlak oleje se má pohybovat obvykle okolo 0,3 až 0,4 MPa) je obsluha ihned upozorněna. Provoz motoru bez mazání má i při volnoběžných otáčkách a velmi krátké době fatální následky, může dojít k tzv. zadření motoru, jehož následná oprava je často mimořádně nákladná. [3]

Olejový okruh motoru se kontroluje na těsnost před naplněním motoru olejem. Těsnost soustavy je konstrukčně poměrně složitá, musí se zajistit těsnost všech dosedacích ploch – hlavy válců a ventilového víka, držáku olejového filtru a filtru samotného, spojení bloku válců, olejové vany atd. Dále je nutná bezvadná funkce hřídelových těsnění, zejména těsnění klikového hřídele.

Nedostatky v mazací soustavě mohou vzniknout při montáži olejového čerpadla a jeho pohonu, je tu i možnost nefunkčnosti montovaného čerpadla. Špatnou funkčnost mazání může způsobit špatná montáž nebo zcela chybějící pánev ojnicního či hlavního ložiska, špatná pozice těsnění pod hlavou válců, zvýšené průtokové odpory olejových kanálů vlivem nečistot, zbytků po obrábění nebo upuštěných menších dílů. Naprostá většina závad mazání se projeví už na kalttestu (naměřený tlak oleje nebude v pořádku).

Chladicí soustava musí v motoru udržet optimální teplotní podmínky pro pracovní cyklus, musí zajišťovat přijatelné tepelné namáhání součástí PSM a musí odvádět teplo vznikající spalováním paliva i třením pohybujících se dílů motoru. Teplotní stav motoru se obvykle charakterizuje teplotou chladicího media před

vstupem do chladiče. Pro správnou funkci motoru nesmí dojít k jeho přehřátí, což je při vlastnostech chladicích kapalin teplota přibližně 110°C, kdy může kapalina přecházet k varu a ztrácí chladicí vlastnosti. V tomto stavu sice ještě není motor nepřipustně namáhán, ale při dalším provozu dojde vlivem rostoucí teploty a tepelné roztažnosti k enormnímu zatížení stěn válců, pístů a hlavy válců. Chladicí soustava může být podobně jako olejová nefunkční vinou ucpání chladicích kanálů, nefunkčního čerpadla, může dojít k poruše termostatu, nebo také k netěsnostem. Těsnost chladicího systému lze porušit nesprávnou montáží termostatu, vliv má i těsnění pod hlavou válců. Podobně jako olejová soustava se i chladicí okruh testuje na těsnost tlakovým testem. [3]

Funkce rozvodového mechanismu

Funkci rozvodového mechanismu, zajišťujícího správné časování ventilů, je podobně jako u klikového mechanismu nutné zkontrolovat ihned během montáže. V době montáže pohonu rozvodového mechanismu (obvykle ozubeného řemenu či řetězu, případně soustavy ozubených kol) musí být vačkový hřídel přesně nastaven vůči klikovému hřídeli, aby bylo zajištěno otevírání a zavírání ventilů ve správný okamžik pracovního cyklu motoru. Dojde-li během montáže k chybě, pak při roztočení motoru může dojít až ke střetu pístu s ventilem a následné havárii motoru se značnými náklady na výměnu poškozených částí – obvykle přinejmenším pístu a kompletní hlavy válců.



Obr. 1: Přípravek pro aretaci klikového hřídele v poloze pro montáž rozvodového řetězu

Činnost rozvodu lze změnit chybou v technologickém postupu, např. nezajištěním vačkového hřídele v předepsané poloze, nesprávnou montáží vodicích lišt či napínáku rozvodového řetězu. Poměrně snadno lze nasadit rozvodový řetěz například o jeden či několik málo zubů posunutý. Nastavení rozvodového mechanismu se kontroluje kamerou v automatické stanici, a



dále podle tlaku ve válci a signálů ze snímačů vačkového a klikového hřídele na kalttestu. Diagnostikovat nesprávné nastavení rozvodu lze vizuálně – značkami na klikovém hřídeli a kole pohonu vačkového hřídele, případně endoskopicky. Pokud nedojde za běhu motoru k havárii, projeví se chybné nastavení rozvodu špatným během motoru, výrazně sníženým výkonem, nízkou kompresí a zhoršeným startem, avšak posunutí například o jeden zub řetězového kola se také nemusí projevit natolik výrazně, aby bylo kontrolními operacemi na montážní lince vůbec zjištěno.

Elektropříslušenství

Elektronické systémy jsou v dnešní době už velmi spolehlivé a jejich použití v automobilech je čím dál širší, počínaje zapalováním přes řízení motoru i modulů podvozku až po různé bezpečnostní a asistenční systémy. Vzhledem k rozsahu použití a důležitosti funkce elektronických prvků je velmi důležité věnovat těmto součástem motoru náležitou pozornost. U elektropříslušenství bývá problematičtější především správné nastavení a seřízení, eventuálně propojení mechanickými spoji, v konektorech apod. Elektrické příslušenství je dodáváno subdodavateli, ve společnosti Škoda Auto přejímací kontrola neprobíhá, takže pro účely testování nelze předpokládat stoprocentní kvalitu a funkčnost. Na montážní lince lze konektory poškodit při zapojování a manipulaci, podobně lze poškodit kabelový svazek. Stejně tak lze poškodit při montáži i zapalovací svíčky, zejména poškozením elektrod (vzdálenost mezi elektrodami neodpovídá předepsané). Problém může nastat při záměně některých snímačů, protože takovou závadu statický elektrotest neodhalí už z principu tohoto měření. Problémy se objevují s kvalitním zapojením všech konektorů, některé nejsou dobře přístupné. Automatická kontrola se neprovádí, nezapojený nebo nedokonale zapojený konektor může v současném systému testování odhalit pouze hottest.



2 Systémy zajištění kvality ve výrobě motorů Škoda Auto

V hale M6 závodu Škoda Auto v Mladé Boleslavi se obrábí klikové a vačkové hřídele, blok válců a hlava válců, a to pro tříválcové motory 1,2 HTP a s výjimkou bloku i pro novější čtyřválcové přeplňované motory 1,2 TSI. Dále jsou zde montážní linky předmontáže hlavy válců, montáže polomotorů (tzv. linka „Rumpf“), dokončovací montáže motorů ZP4/I a dokončovací linka ZP4/II především pro vznětové motory koncernu VW.

2.1 Montáž motorů 1,2 HTP

Pro správnou činnost nově vyráběného motoru je potřeba provést veškerou montáž správně a přesně podle technologického postupu, a to jak práce prováděné automatizovanými stanicemi, tak i práce vykonávané pracovníky na montážní lince. Je proto nutné průběžně kontrolovat správnost, přesnost a potřebnou kvalitu provedených operací. Na montážních linkách haly M6 je zaveden systém pravidelné kontroly všech motorů automaticky téměř po každé operaci, klíčové funkční systémy a celky motoru jsou kontrolovány zvlášť ve speciálních strojích (stanicích) zařazených v toku montážní linky.

Montáž polomotorů „Rumpf“

Montáž motorů 1,2 HTP začíná na lince „Rumpf“ uložením obou dílů bloku motoru na paletu na lince, nalepením a načtením čárového kódu. Následuje barevné označení ojníc, jejich trhání, kompletace pístu s ojnicí a montáž pánví ojničních ložisek. Písty s ojnicí se vkládají do válců, v automatické stanici se zkontroluje jejich typ a poloha. Dále se lisují pánve hlavních ložisek a následně se do bloku zakládá klikový hřídel. Pokračuje se naolejováním ložisek, montáží vík ojníc a axiálních ložisek. Následuje montáž vyvažovacího hřídele, lisování pánví hlavních ložisek do spodní části bloku válců a spojení obou částí bloku. Poté se provádí první zásadní kontrola – ověření otáčivé pohyblivosti klikového mechanismu a měření třecího momentu. Následně se montuje olejové čerpadlo a těsnění klikového hřídele, těsnění pod hlavou a hlava válců, hydraulické podpěry a vahadla ventilů. V dalších operacích se vloží vačkový hřídel a víko hlavy válců, vodící a napínací lišty rozvodového řetězu, zaaretuje se klikový mechanismus pro montáž řetězu,



namontují se řetězová kola, řetěz a hydraulický napínák rozvodového řetězu a poté přední víko. Dále se namontují ostatní kryty, řemenice klikového hřídele, demontují se aretační přípravky, vloží se snímače otáček klikového a vačkového hřídele, olejová vana a olejový filtr, polomotor se připraví na „kalttest“ (bude vysvětleno dále). Následuje další test otáčivé pohyblivosti motoru, měří se třecí moment. Polomotor se poté otestuje na těsnost (tzv. „lecktest“), naplní olejem a pokračuje na studený test („kalttest“). Pokud je polomotor vyhodnocen jako bez závad, dokončí se a na závěsném dopravníku putuje do skladu. [17]

Dokončovací montáž

Na dokončovací lince ZP4/I se polomotor po založení na linku osadí zapalovacími svíčkami, snímači, stínícími plechy a těsněními, dále výfukovým potrubím, termostatem, sacím modulem a elektronickou škrticí klapkou. Namontují se všechny řemenice, setrvačník a spojka, vedení podtlaku, svazek elektroinstalace a palivová lišta. Pokračuje se vložením zapalovacích modulů a montáží zbylých hadic, trubek a spon. Zapojí se svazek elektroinstalace a provede se kamerová kontrola kompletnosti montáže. Motory poté projdou tlakovým testem palivové soustavy a statickým elektrotestem. Po těchto operacích jsou motory až na některé menší díly dokončené, pokračují do skladu, každý 24. motor se však z linky odpojuje a směřuje do stanice teplého testu. [17]

Řízení a zajištění kvality montáže

Kvalita je zajištěna těmito systémy:

- laserovými snímači (např. přítomnost a poloha vahadel)
- automatickými kamerovými kontrolními stanicemi
- automatickým sledováním utahovaček na ručních operacích, kdy bez příslušného počtu dotažení nelze motor pustit na montážní lince dál
- systémy na principu síla/dráha (případně moment/úhel): při utahování se sledují hodnoty síly (resp. momentu) a dráhy (úhlu) vřetena; pokud stroj nebo pracovník nevykoná operaci správně (potřebný počet utažení, případně utahovací síla (moment) nebo dráha vřetena neodpovídá nastaveným hodnotám), motor není puštěn do následujících operací
- tlakovými testy těsnosti



- komplexními testy – studeným testem polomotoru, statickým testem elektropříslušenství, teplým testem motoru

Všechny operace montážní linky jsou propojeny do sítě, data se po každé operaci automaticky ukládají do datového nosiče na montážní paletě, a když paleta s motorem dorazí na konec linky, jsou data přenesena po síti a uložena na pevný disk do databáze systému Nexum, kde lze údaje zpětně vyvolat. Ukládají se veškeré naměřené hodnoty a výsledky testů a jednotlivých montážních operací, neukládají se pouze fotografie kamerových kontrol. Data z kontrolních stanic, kamerových kontrol a studeného i teplého testu se ale vzhledem k množství dat nijak neporovnávají a dále nevyhodnocují, kontroly nejsou propojeny.

System, který by automaticky na základě připravených algoritmů vyhodnocoval vybranou zájmovou skupinu dat podle možných souvislostí zejména mezi kontrolními operacemi a testy na montážní lince, by mohl zefektivnit a zrychlit zjišťování závad a zejména hledání prvotních příčin, a s tím spojené jejich odstraňování. Otázkou však je případná získaná výhoda proti finanční náročnosti investice do takového systému.

2.2 Nejdůležitější kontrolní operace na montážní lince

2.2.1 Kamerové kontroly

Kamerové kontroly jsou instalovány na několika místech v toku montážní linky. Jejich základním úkolem je kontrola kompletnosti montáže. Výsledkem kamerových kontrol je pouze sdělení „motor vyhovuje“, případně „motor nevyhovuje“, nejsou však schopny zajistit kvantifikovanou kontrolu.

Kamerou se v případě motoru 1,2 HTP kontroluje:

- číslo motoru a typ bloku
- typ a správná poloha pístů
- montáž klikového hřídele a pánví hlavních ložisek
- typ a poloha těsnění hlavy válců
- poloha a typ vahadel, přítomnost těsnícího tmelu, vačkový hřídel
- typ řetězových kol rozvodu, řetězu a nastavení rozvodu



- poloha ozubených kol vyvažovacího a klikového hřídele
- krycí plech setrvačníku, sací modul, škrticí klapka, zapojení AKF ventilu, zapáskování palivové hadice, zapojení hadice PCV ventilu, typ spodního stínícího plechu výfuku

2.2.2 Kontroly na třecí moment

První speciální kontrolní operací je kontrola otáčivé pohyblivosti klikového hřídele, nebo také tzv. kontrola na třecí moment. Nesprávnou funkci nebo chybnou montáž klikového mechanismu je bezpodmínečně nutné diagnostikovat ihned po kompletaci tohoto celku. Případná výměna některého dílu klikového mechanismu je náročná na čas i práci, jelikož se musí rozebrat celý motor. Uvedení motoru s vadnou částí klikového mechanismu do provozu má většinou fatální následky – obvykle následuje nefunkčnost, přídření, nebo v horším případě havárie motoru s nevratným poškozením základních částí – válce, ojnice, pístu, hlavy válců apod., a s tím spojenými značnými náklady na díly i vícepráce.

Motor ustavený na paletě přijíždí do stanice otočený písty dolů, s nastavením pístu prvního válce do horní úvrati. Klikový hřídel je uchycen za přírubu setrvačníku automatem, který s ním dvakrát otočí, nejdříve pomalu o 360°, a následně o 720° vyššími otáčkami. Přitom se měří třecí moment jako odpor proti otáčení, kdy meze pro posouzení uložení klikového mechanismu jako „v pořádku“ jsou: M_u je mezi 0 Nm a 8,19 Nm. Následně je nastaven první válec do horní úvrati a měří se axiální vůle klikového hřídele. Ta musí být v mezích 0,04 – 0,23 mm. Projde-li motor jako I.O., je vysoká pravděpodobnost správné montáže všech hlavních i ojnicových ložisek.

Kontrola na třecí moment probíhá také na lince předmontáže hlavy válců. Zde dojde po zkompletování a zatažení ložisek vačkového hřídele k podobnému ověření otáčivé pohyblivosti vačkového hřídele, měří se opět moment jako odpor vůči otáčení.

Další operací, měřicí točivý moment, je operace před plněním motoru olejem, kdy se za šroub řemenice otáčí již téměř dokončeným polomotorem dvakrát o 360° velmi nízkými otáčkami. Cílem je lepší dosednutí hřídelových těsnění, a také se kontroluje moment, zejména pro včasné zjištění případného nesprávně nasazeného („spadlého“) vahadla ventilů.



2.2.3 Zkoušky těsnosti

Mazací soustava je jedním z klíčových celků pro správnou funkci spalovacího motoru. Vysoká vzájemná rychlost pohybu některých dílů spalovacího motoru klade vysoké nároky také na mazání. Tlak mazacího oleje je jedním z nejdůležitějších parametrů, ukazujících na správnost funkce důležitých celků motoru, při provozu prohřátého motoru se má pohybovat obvykle okolo 0,3 až 0,4 MPa.

Chladicí soustava musí v motoru udržet optimální teplotní podmínky pro pracovní cyklus, musí zajišťovat přijatelné tepelné namáhání součástí PSM a musí odvádět teplo vznikající spalováním paliva i třením pohybujících se dílů motoru.

Palivový systém se skládá z palivového čerpadla (které je však u motoru HTP umístěno společně s filtrem v palivové nádrži), dále palivových hadic a trubek, palivové lišty a vstřikovačů. Zajištění těsnosti systému není vzhledem k nízkotlakovému systému vstřikování benzínu tak náročné, problematická mohou být pouze místa propojení jednotlivých částí soustavy, zejména v okolí palivové lišty.

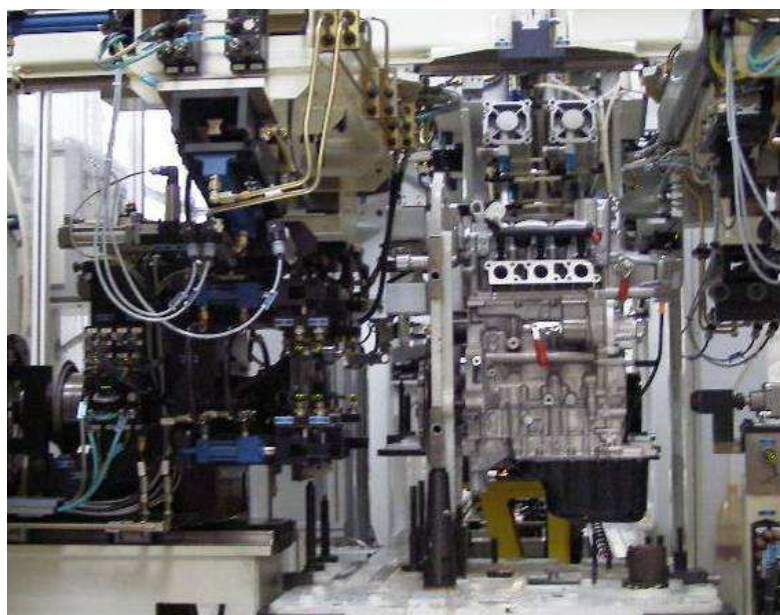
Těsnost olejového a vodního tlakového prostoru se testuje na konci montážní linky polomotorů (Rumpf), což je ihned po smontování dílů zajišťujících těsnost těchto okruhů – je dokončena kompletace bloku motoru s hlavou válců a všemi víky, a ověřuje se tak správná funkce všech kanálů a těsnění. Ve zdvojené stanici je provedena tlaková zkouška olejového a vodního prostoru před plněním motoru olejem. Motor je pracovníky před vjezdem do stroje připraven zazátkováním všech otvorů tlakových prostorů. Ve stanici je poté do těchto prostorů vháněn tlakový vzduch a je sledována časová změna tlaku – průtok vzduchu. Pro vodní prostor je stanovena mezní hodnota tlakové ztráty $12 \text{ cm}^3/\text{min}$, pro olejový prostor je povolen ztrátový tlak $200 \text{ cm}^3/\text{min}$.

Vedle pracoviště statického elektrotestu se dále tlakovým testem ověřuje také těsnost palivového okruhu a funkčnost palivové lišty.

Na těsnost se kontroluje také spalovací prostor v hlavě válců, resp. ventily a ventilová sedla. Na lince předmontáže hlavy válců je instalována zkušební stanice, kde se opět tlakovým vzduchem ověří povolený limit průtoku vzduchu (úniku tlaku) vlivem netěsnosti ventilů.

2.2.4 Kalttest

Stanice tzv. studeného testu je prvním místem, kde se zkouší mechanická funkčnost zkompletovaného polomotoru jako celku v pohybu. Princip testu je založen na sledování průběhu měřených veličin v závislosti na natočení klikového hřídele, při různých otáčkách. Polomotor čerstvě naplněný olejem je roztočen elektromotorem připojeným výsuvnou spojkou na adaptér, který je umístěn namísto setrvačníku. Motor se roztočí na 1500 ot./min, poté se zpomalí na 80 ot./min.



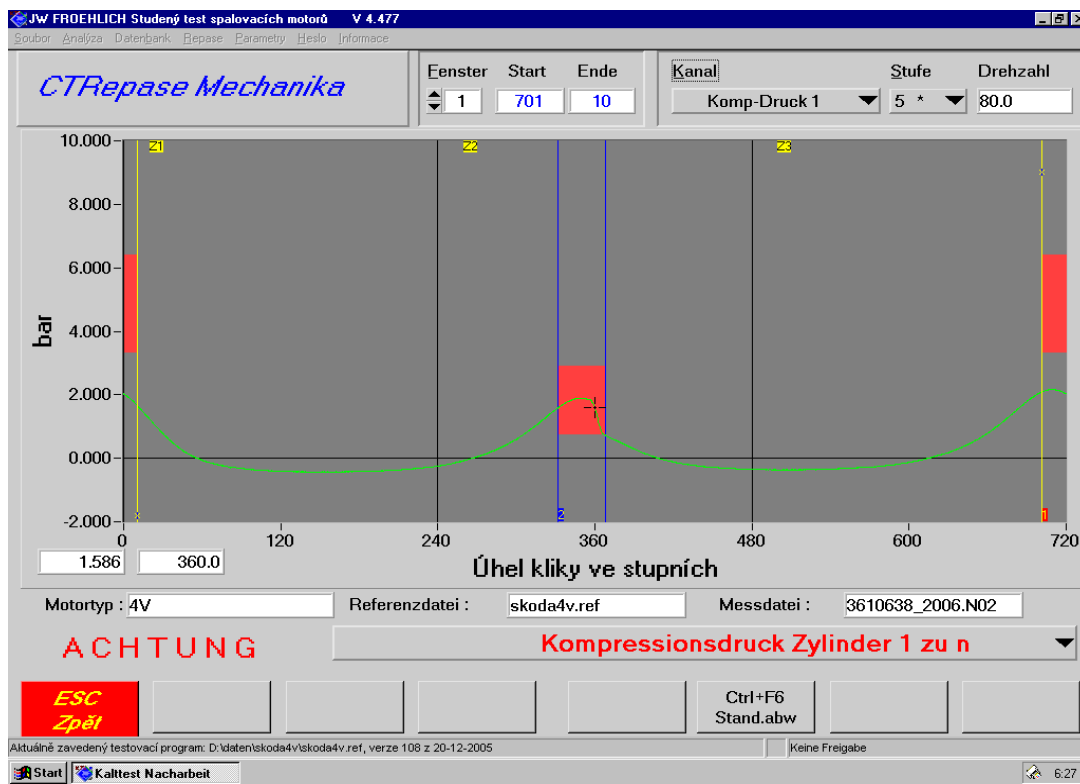
Obr. 2: Stanice kalttestu

Měří se tyto hodnoty:

- tlak mazacího oleje – statický a dynamický (při změně otáček),
- teplota mazacího oleje,
- tlak v sacím potrubí každého válce,
- tlak ve výfukovém potrubí každého válce,
- kompresní tlaky válců (měřené otvory pro svíčky),
- signál ze snímače otáček/polohy vačkového hřídele – tím se kontroluje i správnost nastavení rozvodu,
- moment potřebný k protočení motoru – tj. kontrola pasivních odporů.



Kalttest vyhodnocuje data na základě hodnot maxima, minima, rozdílu, průměru celkového i průměru kladných a záporných hodnot, průsečíku s nulou aj. Hodnoty se mají pohybovat v zadaných polích, kterými musí změřená křivka dané veličiny procházet.



Obr. 3: Chybové hlášení vinou nízkého kompresního tlaku 1. válce při kalttestu

2.2.5 Elektrotest

V toku montážní linky ZP4/I je zařazeno zdvojené pracoviště, kde se testuje elektropříslušenství motoru a kabelový svazek. Přítomnost a do jisté míry funkčnost některých snímačů se testuje měřením elektrického odporu snímače, což však není příliš výhodné z hlediska ověření skutečné pracovní funkčnosti daného snímače. Prověřuje se funkčnost zapalování každého válce a funkce vstřikovačů – vstříky se otevřou, profouknou se tlakovým vzduchem a opět se uzavřou. Ověřuje se také správná funkce elektrické škrticí klapky, vyzkouší se její pohyblivost, plné otevření a zavření.



2.2.6 *Hottest*

Na pracovišti hottestu je plně zkompleťovaný nový motor poprvé nastartován a vyzkoušen v provozních podmínkách, tj. s přívodem paliva, normálně fungujícím sáním i výfukem, zapalováním, chlazením kapalinou z centrálního okruhu a provozovaný v několika otáčkových režimech s různým zatížením. Podmínky testu tak na rozdíl od ostatních zkoušek dobře simulují následný reálný provoz motoru. Za běhu motoru však zase nelze otestovat veškeré parametry (např. kompresní tlaky).

Motor je po příjezdu na pracoviště pomocí jeřábu přemístěn z palety na zkušební stolicí, kde obsluha zkontroluje kompletnost motoru, odstraní plastové krytky a zátky a pomocí měrky ověří množství mazacího oleje. Poté se na motor připojí výfukové potrubí, vedení přívodu a odvodu chladicí kapaliny a zapojí se elektrický svazek do adaptéru ve stanici, který simuluje řídicí jednotku motoru. Dále se zaslepí zbylé vývody chladicího okruhu, hrdlo podtlaku na sacím potrubí a škrticí klapce. Po spuštění programu dojde k upnutí motoru a vysunutí krytu setrvačníku a hnacího hřídele dynamometru, motor se naplní chladicí emulzí a benzinem. Poté se aktivuje zapalování a motor se nastartuje. Zkušební cyklus probíhá automaticky po dobu 4,5 min. Po dokončení testu se motor opět odpojí a zazátkuje a podle výsledku testu odešle na expedici, nebo na repasní pracoviště.

[1, 4, 17]



3 Moderní diagnostika pístových spalovacích motorů

3.1 Současné trendy v testování PSM

Také v oboru zkušebnictví spalovacích motorů se uplatňují soudobé tendence, snahy snižovat hluk, spotřebu paliva a emise výfukových plynů. Hottest je v těchto ohledech poměrně nevýhodný vzhledem k produkci hluku, který je nutné izolovat od okolních pracovišť, i spotřebě paliva, které není efektivně použito k žádné využitelné práci. Z těchto důvodů neprochází teplým testem ani zdaleka všechny motory – u motorů 1,2 HTP je to 1 z 24 kusů v sérii, a snahou je pokud možno tento druh testu výrazně omezit nebo zcela vyřadit. Zrušení hottestu zatím neumožňují interní předpisy skupiny Volkswagen Group. Z motorů HTP však už nyní prochází 100% pouze studeným testem – kalttestem ve výrobním stadiu polomotoru, v případě nového motoru TSI potom tzv. EFT (End Funktion Test, výstupní funkční zkouška) na konci dokončovací výrobní linky ZP4/I.

3.2 Technické možnosti moderní diagnostiky PSM

Mezi základní úkoly technické diagnostiky patří odhalování a identifikace míst, rozsahu a příčin vzniku poruch stroje s následnou charakteristikou ekologických a ekonomických dopadů dalšího provozu bez opravy, a také zjednodušení rozhodnutí o potřebném rozsahu opravy či výměny některé součásti stroje. Technická diagnostika se s výhodou aplikuje, pokud má pro uživatele kladný přínos, tedy pokud jsou náklady na pořízení a provoz diagnostického zařízení nižší než finance ušetřené díky včasnému odhalování poruchových stavů a snazší identifikaci poruch a příčin jejich vzniku. Lze snížit riziko odeslání vadného výrobku zákazníkovi a tím pravděpodobnost následné reklamace, také se mohou zmenšit náklady na vícepráce spojené s vyhledáváním poruch, a pozitivní je, pokud se použitím moderní diagnostiky podaří včas zjišťovat souvislosti, příčiny vzniku poruch a odstraňovat je tak, aby se vada neopakovala. [8]

Vnitřní diagnostika

Vnitřní diagnostika dnes probíhá pomocí diagnostického přístroje – motortesteru, který se připojuje přes normalizovanou zásuvku a komunikuje s řídicí jednotkou vozidla. ECU motoru pracuje s informacemi z mnoha snímačů a z těchto

dat zjišťuje aktuální stav motoru a vyhodnocuje potřebné ovládací signály pro akční členy. Původním hlavním úkolem této tzv. OBD – On Board Diagnostic – bylo zajišťovat funkční schopnost pro plnění emisních limitů po celou dobu provozu. Data o chybách se ukládají do paměti závad a lze je tak využít k hledání případné poruchy na základě chybového kódu každé závady. Z ECU lze také vyčíst skutečné hodnoty některých parametrů, například předstihu, teploty chladicího media či oleje, napájecího napětí, otáček apod. [12]

Pro motory koncernu Volkswagen existuje takových testerů více, na pracovišti hottestu využívaný VAG 1552 patří ke starším, modernější zařízení jsou systémy VAS 5052 a VAS 5053, pracující na bázi přenosného kompaktního PC s integrovaným diagnostickým modulem.



Obr. 4: Moderní přístroj pro vnitřní diagnostiku VAS 5053 s příslušenstvím

Vnější diagnostika

Vnější diagnostika snímá a vyhodnocuje data v různé podobě. Může se jednat o elektrické veličiny – napětí, elektrický proud, elektrický odpor, mohou to být veličiny termodynamické – hmotnost, teplota, tlak, dále také kinematické veličiny – rychlost a otáčky, čas, poloha, nebo chemické veličiny v podobě např. složení plynů a kapalin. Nevýhodou vnější diagnostiky může být, že je někdy nutné provést do motoru určitý zásah pro zamontování sondy nebo čidla na příslušné místo měření. Výhodou naopak je nezávislost na chodu motoru, data nejsou ovlivňována řídicí

jednotkou, nebudou zkruslena, obvykle je daleko lepší přesnost i frekvence snímání veličin, než umožňují snímače používané ECU. Data jsou navíc snímána a zobrazována v reálném čase, nemůže dojít k tomu, že bude nějaká chyba vyhodnocena jako výjimečná či nepodstatná a do seznamu závad se vůbec nedostane.

Základem vnější diagnostiky bývá osciloskop jako klíčové zařízení k zobrazení skutečného průběhu a hodnot sledovaných parametrů. Osciloskopy jsou analogové nebo digitální, mají různé napěťové rozsahy, vzorkovací frekvence, počet kanálů se pohybuje od dvou k šestnácti i více. Dnes jsou často osciloskopy vybavovány USB rozhraním pro komunikaci s počítačem, mnohdy pak postrádají i obrazovku, jelikož je měřená veličina zobrazována rovnou na displeji počítače a data ukládána na pevný disk.

Pro pokročilou diagnostiku jsou v nabídce i komplexní diagnostické systémy, obsahující modul pro vnitřní diagnostiku – komunikaci s řídící jednotkou, dále také



Obr. 5: Komplexní měřicí, diagnostický a informační systém VAS 5051

osciloskop obvykle propojený s počítačem, přístroje pro měření elektrických veličin – voltmetr, ampérmetr, ohmmetr aj., vysokonapěťové sondy, proudové kleště, různé snímače apod. Počítač často obsahuje software, který obsluhu provádí po krocích celou procedurou diagnostiky – od výpisu chyb z řídící jednotky vozu, použití osciloskopu pro upřesnění poruchy až po vyhledání a doporučený postup odstranění závady. Pro využití s vozy koncernu Volkswagen je takovým přístrojem například VAS 5051. Takovéto komplexní zařízení je však pochopitelně značně finančně náročné, vyžaduje

pravidelnou aktualizaci softwaru a pro diagnostiku motoru na výrobní lince se podle mého mínění příliš nehodí, na tento úkol je svými možnostmi poměrně dost předimenzované.

4 Motor 1,2 HTP

Motor 1,2 HTP je zážehový nepřepřlňovaný kapalinou chlazený řadový tříválec s nepřímým vícebodovým sekvenčním vstřikováním benzínu do sacího potrubí. Základní parametry motoru jsou: zdvihový objem 1198 cm^3 , kompresní poměr 10.5, jmenovitý výkon 51 kW při 5400 min^{-1} , maximální točivý moment 112 Nm při 3000 min^{-1} . Motor se nyní vyrábí již pouze ve čtyřventilové variantě, rozvod motoru je 2xOHC, pohon rozvodu je řešen ozubeným řetězem od klikového hřídele, řetěz je napínán hydraulickým napínákem. Ventilová vůle je vymezována pomocí podpěry s hydraulickým nastavováním tlakem oleje v mazací soustavě. Blok motoru se skládá ze dvou částí s dělící rovinou v ose klikového hřídele – horního dílu bloku válců a spodního dílu, tvořícího současně dolní polovinu uložení klikového hřídele. Obě části jsou vyrobeny z hliníkové slitiny AlSi9Cu3. Ze stejného materiálu jsou odlévány také hlava válců a ventilové víko, víko rozvodového mechanismu je



Obr. 6: Motor 1,2 HTP po montáži na lince ZP4/1

z materiálu AlSi12Cu1(Fe). Klikový hřídel je odlitek z tvárné litiny, přesně obráběný broušením, a je v bloku motoru čtyřikrát uložen. Vzhledem k nutnosti co nejlepšího vyvážení a snížení vibrací a hluku je použit vyvažovací hřídel, hnaný ozubeným soukolím od klikového hřídele s převodem $i=1$ a uložený ve spodním dílu bloku motoru. Ojnice jsou výkovky, pro přesnost spoje táhla a víka se

využívá technologie trhání. Zapalování je řešeno bez vysokonapěťových kabelů pomocí třech modulů s integrovanými indukčními cívkami a koncovými výkonovými stupni, zážeh probíhá v pořadí válců 1-2-3. Škrticí klapka E-Gas je ovládána elektronicky bez mechanické vazby na plynový pedál.



Řídící jednotka motoru Simos 3PE pracuje se signály z množství snímačů, které vyhodnocuje a následně řídí spalovací proces a chod motoru. Jedná se o následující snímače umístěné přímo na motoru:

- čidlo teploty nasávaného vzduchu G42
- čidlo tlaku nasávaného vzduchu G71
- snímač otáček motoru G28
- snímač polohy vačkového hřídele G163
- snímače úhlu nastavení škrticí klapky G187 a G188
- snímač teploty a hladiny motorového oleje G266
- snímač klepání G61
- čidlo teploty chladicí kapaliny G62
- lambda-sonda před katalyzátorem G39
- lambda-sonda za katalyzátorem G130

Další snímače jsou například snímače plynového, brzdového a spojkového pedálu, signály o rychlosti jízdy vozidla, okamžité napětí generované alternátorem aj., tyto snímače však s motorem přímo nesouvisí a při testech jsou jejich signály nahrazovány fiktivními hodnotami.

Řídící jednotka motoru řídí následující akční členy:

- relé palivového čerpadla J17 a palivové čerpadlo
- vstřikovací ventily pro jednotlivé válce N30-N32
- zapalovací cívky s koncovými výkonovými stupni N70, N127, N291
- jednotku elektronické škrticí klapky E-Gas
- elektromagnetický ventil nádoby s aktivním uhlím
- elektromagnetický ventil pro zpětné vedení výfukových plynů s potenciometrem
- vyhřívání obou lambda-sond Z19 a Z29

Motor 1,2 HTP nyní splňuje exhalační normu EURO 5. Motor se vyrábí již deset let a jeho výroba bude během 1-2 let ukončena. V nejbližší budoucnosti se však počítá s přepracováním na přeplňovaný maloobjemový tříválec a také



s výrobou modernějšího nepřepřínovaného tříválcového zážehového motoru o poněkud nižším zdvihovém objemu, kdy se využijí dosavadní zkušenosti i technologie spojené s výrobou, provozem a servisem motoru 1,2 HTP. [11]

4.1 Problematická místa a závady ze servisní sítě

Motor 1,2 HTP patří aktuálně ke zcela nejspolehlivějším motorům koncernu Volkswagen Group. Během dlouholeté výroby se výskyt závad průběžně snižoval, časté závady se řešily menšími konstrukčními změnami a opatřeními ve výrobě. V současné době se tak poruchovost tohoto motoru pohybuje pod 1%, což je vynikající hodnota.

Nejproblematictějšími místy a nejčastějšími závadami motoru, souvisejícími s montáží, jsou v posledních 12 měsících:

- elektrické konektory, u nichž dochází k poškození častěji zapojováním a rozpojováním či neopatrností;
- zapalovací svíčky, kde dochází neopatrnou manipulací k poškození elektrod (tzv. sklepnutí, snížení přeskokové vzdálenosti mezi elektrodami);
- rozvodový mechanismus, kde jsou problémy se správným nastavením rozvodového řetězu, aretační přípravy často nezajistí dostatečnou přesnost, nebo dojde k pootočení řetězového kola při utahování centrálního šroubu, a potom následuje mírné přesazení řetězu, které má za následek špatný chod motoru, nedostatečný výkon a nevyhovující emise, přitom tato závada nemusí být snadno odhalitelná.

5 Hottest

Hottest je prvním místem v průběhu výroby motoru, kde dojde k uvedení motoru do provozu v podmínkách blížících se reálnému provozu. Průběh tohoto testu tak umožňuje rozsáhlou kontrolu funkce mnoha důležitých systémů, avšak některé parametry testovat nelze, nebo lze jen nepřímo. Schéma pracoviště hottestu ukazuje příloha 1.



Obr. 7: Pracoviště Hottestu

Před zahájením testu obsluha zkontroluje úplnost montáže motoru, vizuálně ověří těsnost motoru a výšku hladiny oleje. Na motor se připojí vývody chladicí kapaliny a benzínu z centrálního zásobníku, ostatní vývody se zaslepí. Podobně se zaslepí také hrdla podtlaku na sacím potrubí a škrtecí klapce. Elektrický svazek je připojen k řídicí jednotce umístěné trvale ve stanici. Tato řídicí jednotka musí nahrazovat ECU Simos, která je namontována ve vozidle. K motoru je za katalyzátor připojeno přes těsnění výfukové potrubí, které může nepatrně ovlivnit naměřené výkonové parametry. Na motoru navíc není před škrtecí klapkou žádné sací potrubí ani vzduchový filtr, vzduch je nasáván bez filtrace, a tudíž i bez dopravních ztrát, do sacího modulu. Motor je testován na dynamometru s maximálními otáčkami 4500 min^{-1} , na obrazovce ovládacího panelu Siemens Simatic se zobrazuje výsledek testu a výsledky dílčích měření.

V průběhu tohoto testu se využívá subjektivních metod diagnostiky, což je pohledová kontrola úplnosti a těsnosti a poslechová kontrola pravidelnosti běhu, hluku a vibrací při různých otáčkách. Provedení těchto subjektivních metod však pochopitelně závisí na daném pracovníkovi, navíc tato data nelze nijak ukládat a statisticky vyhodnocovat. Objektivní metody diagnostiky jsou zastoupeny



Obr. 8: Obrazovka ovládacího panelu Siemens Simatic

diagnostickým přístrojem VAG 1552, který načítá data a chybová hlášení z řídicí jednotky motoru ve stanici. V počítači ve stanici pak data z diagnostického přístroje vyhodnocuje a zobrazuje software Diagra. Řídicí jednotka však může vlivem některých chybějících údajů i vlivem vlastního principu funkce vykazat nepřesné výsledky. Software řídicí jednotky totiž často reaguje až

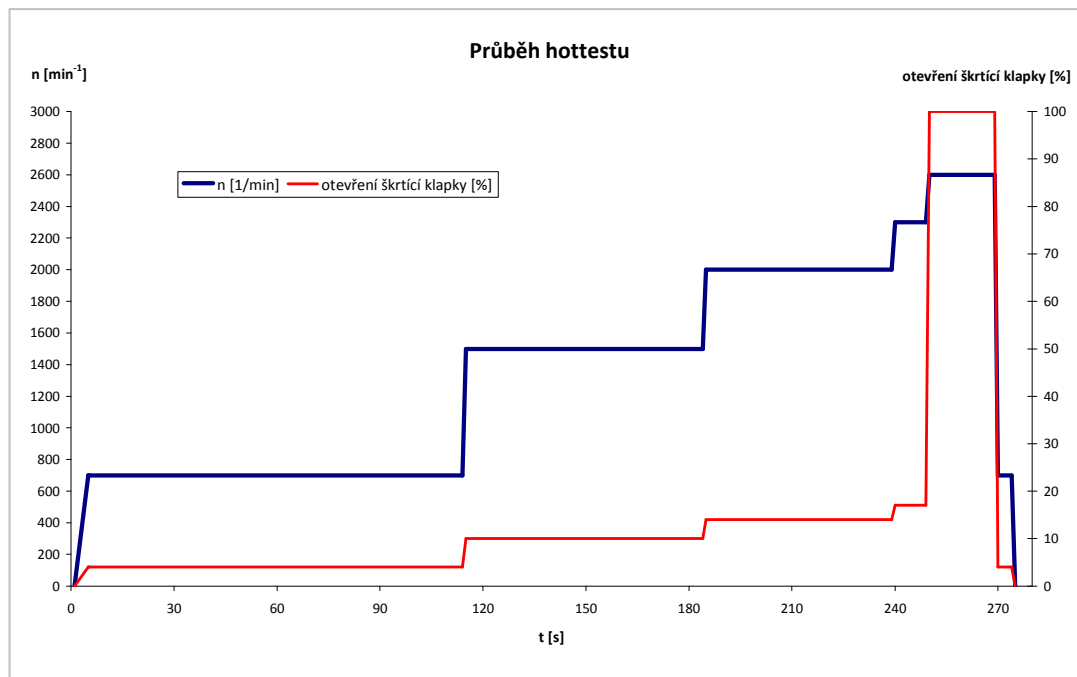
na opakující se chybové signály, takže v průběhu krátkého testu nemusí být ojedinělé výpadky funkce některý systémů do paměti závad vůbec uloženy. Zde je tedy prostor pro využití nezávislé vnější diagnostiky, která je schopna vyhodnocovat data v reálném čase a také je ukládat k pozdějšímu statistickému zpracování.

V současné době se při hottestu motoru 1,2 HTP kontrolují tyto parametry:

- výkon motoru
- točivý moment motoru
- otáčky motoru
- tlak a čas vstřikování paliva
- úhel otevření škrticí klapky
- teplota a tlak oleje
- teplota chladicí kapaliny



Na operaci hottestu není v současné době vnější diagnostika v podstatě vůbec zavedena, pro posouzení stavu motoru a uvolnění celé palety k expedici se používá diagnostika vnitřní v kombinaci se subjektivní diagnostikou vyškoleným pracovníkem. [1, 4, 17]



Obr. 9: Průběh Hottestu motoru 1,2 HTP v čase

6 Analýza systému kontroly a zajištění kvality

Nejčastějším důvodem poruchy nového motoru je vada na díle od subdodavatele, nebo vada způsobená chybnou montáží, například vinou nedodržení technologického postupu – záměnou dílů z jiné sorty motorů, poškozením některého dílu, chybějícím dílem, nesprávně namontovaným dílem nebo součástíkou zapomenutou či spadlou uvnitř motoru. Dalším důvodem je také selhání opatření proti vzniku chyb (tzv. poka yoke) nebo konstrukční či technologická chyba – problém padajících vahadel ventilů, nepřesnost v časování rozvodů apod.



Obr. 10: Příklad vad způsobených chybnou montáží:

- 1) poškození hlavy válců kvůli nesprávnému nastavení (přesazení) rozvodu*
- 2) poškození (sklepnutí – nesprávná vzdálenost) elektrod zapalovací svíčky*

Současný systém kontroly zajišťuje s poměrně dobrou pravděpodobností včasné zjištění nefunkčního nového motoru ještě před jeho expedicí. Potenciál je zde v dalším zkvalitnění diagnostiky na pracovišti hottestu s ohledem na možnost přesnější identifikace místa poruchy a rychlejšího zjištění její příčiny. Vhodná je aplikace kontroly snímačů důležitých pro funkci motoru, akčních členů a analýzy spalovacího procesu a činnosti motoru. Dalším, v praxi vyzkoušeným řešením je nahrazení současné subjektivní diagnostiky moderní vibrodiagnostikou, od které se očekává v budoucnu pozitivní přínos a zlepšování přesnosti diagnostiky obecně.

Souvislost mezi kalttestem a hottestem

Možná souvislost mezi kalttestem a hottestem, resp. naměřenými hodnotami při těchto testech, byla v minulosti již zkoumána. Z porovnání značného množství naměřených dat nevyplynuly žádné výraznější souvislosti mezi těmito testy, na základě výsledků z kalttestu tak zřejmě nelze uvažovat o výkonových parametrech, měřených následně na hottestu. Tento výsledek vyplývá z rozdílných podmínek



obou testů a poněkud také z nezaběhnutí motoru před kalttestem. Vzhledem k těmto poznatkům jsem se rozhodl nepřikládat velkou váhu uvažovanému měření výkonových parametrů a parametrů oběhu na hottestu a jejich následného zpracování a vyhodnocování vůči údajům z kalttestu. [1]

6.1 Proces spalování

V současném systému zajištění kvality není proces spalování nijak blíže sledován ani u vybrané části motorů procházejících hottestem. Pokud se jedná o sledování parametrů souvisejících s ději probíhajícími ve spalovacím prostoru, dají se k nim alespoň hrubě zařadit tyto veličiny:

- kompresní tlaky všech válců měřené na kalttestu polomotoru
- kamerová kontrola správného nastavení rozvodového mechanismu
- částečná kontrola funkce zapalování a vstřikovačů na statickém elektrotestu
- měření tlaku paliva na hottestu

Jak je zřejmé z uvedeného výčtu, tyto testy jsou pro ověření dějů ve válci často nedostatečné či nevhodné, primárně jsou určeny pouze ke kontrole samostatných součástí. Přitom je proces spalování základním zdrojem energie spalovacího motoru, klíčovou vlastností PSM je schopnost efektivně přeměnit chemickou energii v palivu na energii mechanickou. Sledování spalovacího procesu tak může mnoho napovídat o celkovém stavu PSM a kvalitě jeho montáže, jakož i jakosti dílů dodaných subdodavateli. Na druhou stranu není detailní sledování na novém běžícím motoru bez jakýchkoliv zásahů do motoru snadné. Nabízí se zde využití sledování činnosti motoru pomocí vhodných snímačů a příslušného technického vybavení (osciloskopu, ...).



6.2 Parametry mechanického charakteru

Sledování parametrů mechanického charakteru, mechanické účinnosti ve formě měření točivého momentu v závislosti na otáčkách, dále měření tlaku oleje a parametrů souvisejících s těsností kapalinových systémů a spalovacího prostoru je v současném systému zajištěno takto:

- třecí moment je sledován na třech místech – na montážní lince „Rumpf“ po kompletaci klikového mechanismu a před kalttestem, a dále na předmontáži hlavy válců,
- točivý moment se kromě hottestu měří také na kalttestu, a to na 100% produkce,
- kompresní tlaky se měří na kalttestu, ovšem s odlišnými podmínkami oproti běžnému provozu (bez sacího modulu, se speciálním náhradním systémem sání s kalibrovanými otvory a tlakovým snímačem, výsledné kompresní tlaky se tak pohybují mezi 0,3 až 0,6 MPa); dále už nenásleduje operace, která by tento parametr mohla ovlivnit; navíc se kontroluje na lince předmontáže hlavy válců těsnost ventilů,
- těsnost kapalinových soustav se kontroluje ještě před jejich naplněním danou kapalinou vždy pomocí tlakového vzduchu, po naplnění se při kalttestu sleduje tlak oleje, na hottestu potom opět tlak oleje a tlak paliva,
- tlak oleje se měří na kalttestu, a dále až na hottestu.

Současné snímače neumožňují příliš přesné měření tlaku oleje během hottestu, není možné sledování jeho časového průběhu, takže je vzhledem k důležitosti tohoto parametru pro znalost stavu a funkčnosti mechanických celků motoru (klikového mechanismu, rozvodového mechanismu atd.) vhodné měření tlaku oleje zdokonalit. Na tomto úkolu nyní z pověření vedení výroby motorů odborní zaměstnanci Škody Auto pracují, takže se tímto problémem nebudu dále zabývat.

Menší netěsnost kapalinových soustav by se kontrolou tlaků v současné době v žádném případě neodhalila, zejména měření tlaku oleje je pro zjištění netěsnosti nedostačující. Ani tlak paliva, měřený na hottestu, není dobrým ukazatelem těsnosti. Na základě vlastního pozorování motoru 1,2 HTP při hottestu mohu konstatovat, že ani závažná netěsnost vinou poškozeného těsnění hadice přívodu paliva, připojené k palivové liště motoru, nevede k chybovému hlášení. Těsnost však sleduje obsluha



pracoviště hottestu, takže závažnější netěsnosti olejového, chladicího či palivového okruhu, které by se stihly projevit už během krátkého času běhu motoru při hottestu, musí obsluha zaznamenat a motor označit jako vadný a odeslat k repasi. Potenciální investici do zařízení automaticky kontrolujícího těsnost, tedy příkladně velmi přesného měření tlaků, nepovažuji za nutnou.

Současný systém zajištění kvality má podle mého názoru z hlediska sledování parametrů mechanického charakteru některé nedostatky. Nedostatkem současného systému je především využívaná subjektivní diagnostika, kterou se mnoho poruch nemusí podařit odhalit. V jejím nahrazení moderními metodami sledování mechanických vlastností motoru (hluku a vibrací vinou mechanických závad) tak vidím možný potenciál diagnostiky na operaci hottestu.

7 Návrh změn v diagnostice hottestu

Z výše uvedené analýzy vyplývají možnosti změn v používané diagnostice. Pro posouzení celkového stavu motoru a rovněž jeho elektropříslušenství je optimální sledování spalovacího procesu. Pro daleko lepší ověření správnosti montáže a funkce mechanických částí považuji za vhodné zavedení moderní vibrodiagnostiky.

7.1 Sledování spalovacího procesu

Problém se sledováním spalovacího procesu u běžícího motoru spočívá v tom, že kromě laboratorních podmínek nelze provádět do nového motoru zásadnější zásahy, a nelze tedy vizuálně (endoskopicky) ani pomocí dodatečných snímačů v hlavě válců sledovat děje ve spalovacím prostoru. Jako možnost se proto u zážehového motoru nabízí například sledování elektrických veličin zapalování – průběh el. proudu a el. napětí na sekundáru zapalovacích cívek, průběh signálů na vstřikovačích, na snímači klepání apod.

Za vhodné technické vybavení považuji minimálně 4 kanálový osciloskop v moderním provedení komunikující s počítačem, přístroj může tedy postrádat

vlastní obrazovku na tělese osciloskopu. Zvolil jsem jako příklad přístroj Texvik DS. Jedná se o analogový osmikanálový osciloskop bez obrazovky, komunikující s počítačem pomocí USB rozhraní, přes které je rovněž napájen. Přístroj zapisuje data



Obr. 11: Modul osciloskopu Texvik DS

v reálném čase na pevný disk počítače až v maximální vzorkovací frekvenci 10 MHz na jeden kanál. Výstupem může být soubor .jpeg, nebo binární soubor vhodnější k dalšímu zpracování. S tímto přístrojem je spojené další vybavení – převodník vysokonapětových signálů na nižší napětí, převodník frekvenčního vstupního signálu na výstupní analogový a případně různé snímače. Pro připojené PC je výrobcem doporučena následující minimální konfigurace: CPU 2 GHz

(Pentium IV), 1 GB operační paměti RAM, pevný disk 10 GB, port USB 2.0, video adaptér SVGA AGP, operační systém Windows 98 nebo novější. Tyto požadavky v současné době splní většina i levnějších PC či notebooků, takže do počítačového vybavení není zapotřebí rozsáhlá investice. [13]

Na motoru 1,2 HTP bych s využitím uvedeného vybavení navrhoval pro sledování spalovacího procesu měřit tyto signály:

- signál ze snímače otáček klikového hřídele G28
- signál ze snímače polohy vačkového hřídele G163
- signály ze sekundáru zapalovací cívký N70, N127, N291
- signál ze snímače klepání
- signál z lambda-sondy za katalyzátorem G130 (mnohem vhodnější by byla lambda-sonda před katalyzátorem, ale na hottestu není ještě tato sonda na motoru namontována)
- signál ze snímače nastavení škrticí klapky G187 nebo G188

Jako minimum pro vyhodnocení spalovacího procesu by se dal použít čtyřkanálový přístroj, kde by se potom měřily jen signály o otáčkách motoru a napětí na sekundáru. Z průběhu napětí lze při dostatečných zkušenostech vyčíst mnoho o dějích ve spalovacím prostoru, je zde možnost identifikace špatných zapalovacích svíček – zejména nesprávné vzdálenosti jejich elektrod, nebo i závady vstřikovače. Pro vyhodnocení stavu vstřikovače může být vhodný i signál ze snímače klepání, nesprávná hodnota λ směsi se může projevit odchýlným průběhem hoření, výrazněji se ale mohou změnit parametry pracovního oběhu (p_i , p_{\max} , ...).

Použití signálu ze snímače otáček klikového hřídele G28 je vhodné i pro určení případné nerovnoměrnosti chodu motoru. Pokud je v některém válci spalování nekvalitní, ať už vlivem závady vstřikovače, zapalovací svíčky, nebo jiné, dojde v části cyklu ke snížení úhlové rychlosti otáčení klikového hřídele. Takovou změnu snímač otáček zaznamená, a řídicí jednotka motoru je obvykle schopna na ni reagovat, v krajním případě až vyřazením vstřikování a zapalování v příslušném válci. Této vlastnosti je možné využít, protože na signálu z osciloskopu by se snáze zjistily i malé nerovnoměrnosti běhu motoru, což by ukazovalo na možnou závadu vstřikování či zapalování i tehdy, kdy jsou všechny měřené parametry v tolerancích.

7.2 Zavedení vibrodiagnostiky

Měření a analýza vibrací je významná bezdemontážní diagnostická metoda. Umožňuje poměrně rychlé určení aktuálního stavu stroje, identifikaci a nalezení poruchy a usnadňuje stanovení její příčiny, to vše bez nutnosti demontážních operací, případně jen s minimálním zásahem např. do zakrytování. Vibrodiagnostika může díky včasnému zásahu předejít nákladům nutným k rozsáhlejší opravě většího množství strojů nebo výrobků.

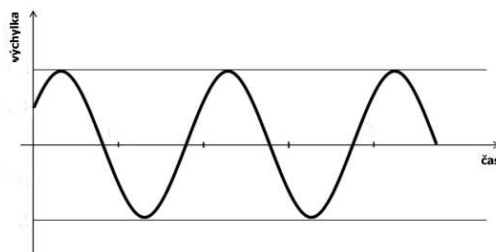
Měření vibrací má mimořádný význam vzhledem ke značnému informačnímu obsahu změřeného chvění pro posouzení skutečného stavu stroje či strojního zařízení. Měření lze uskutečnit v provozních podmínkách, není zapotřebí žádná speciální příprava stroje ani omezení jeho provozu. [2]

Vibrodiagnostika je v současné době používána pro kontrolu nových motorů 1,2 TSI, kde se využívá na výstupní funkční zkoušce motoru (EFT). Je zde využit citlivý mikrofón a také vysoce přesný NVH snímač zrychlení s kmitočtovou charakteristikou 0,5 Hz až 10 kHz.

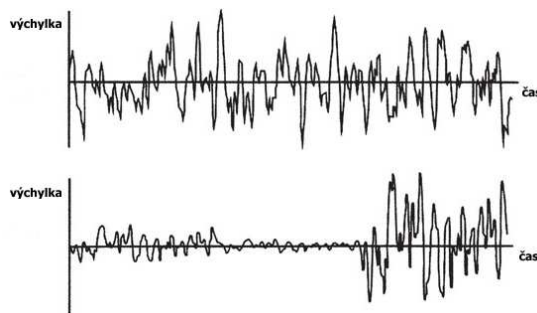
7.2.1 Teorie vibrodiagnostiky

Během činnosti strojů dochází k vibracím, ty jsou obvykle nežádoucím jevem. Způsobují otřesy, významně zvyšují namáhání součástí a zapříčiňují hluk. Vibrace jsou způsobeny nepřesnostmi ve výrobě i při montáži, dále také provozním zatížením a deformacemi vlivem pevnostních vlastností materiálů. Výraznější vibrace mohou být ovšem způsobeny i nedostatky při montáži, případně závadou na některé části nebo příslušenství stroje.

Z fyzikálního pohledu jsou vibrace, resp. kmitavý pohyb definovány jako vratný pohyb hmotného tělesa kolem rovnovážné polohy. Popisují se časovým průběhem výchylky určeného bodu hmotného tělesa. Základem je kmitání



Obr. 12: Jednoduché harmonické kmitání



Obr. 13: Složené kmitání strojů a soustav

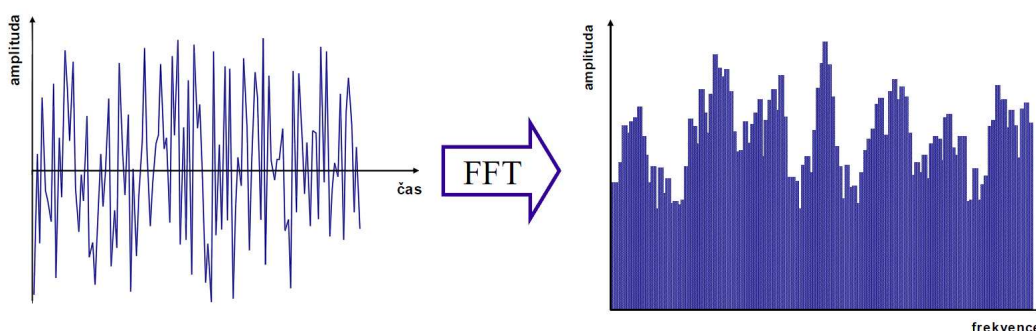
harmonické (jako na obrázku 12) s obsahem pouze jedné složky určitého kmitočtu.

S jednoduchým harmonickým kmitáním se v praxi setkáme jen výjimečně. Složitě stroje a soustavy mají průběh kmitání tzv. složený, smíšený (obrázek 13), s větším počtem složek s různými kmitočty. Zde se jako parametr pro popis průběhu kmitání využívá efektivní hodnota amplitud.

Podkladem pro vyhodnocení stavu stroje jsou kvalitní údaje o sledovaném systému, získávané měřením kmitavých pohybů jednorázově, nebo trvalým sledováním. Pro účely vibrodiagnostiky se hodí frekvence kmitání, nebo také jedna z kinematických veličin: výchylka, rychlost, zrychlení kmitavého pohybu. Tyto veličiny lze samozřejmě navzájem přepočítat užitím integrálního počtu.

Pro vibrodiagnostiku je však potřeba znát i zdroj signálu, který umožní rozklad složeného kmitání na soubor harmonických kmitů, které se budou lišit svými fázemi, amplitudami i úhlovými frekvencemi. Rozklad složených vibrací na jednotlivé frekvenční složky, neboli frekvenční analýza, je základní metoda v oboru vibrodiagnostiky. Výsledkem kmitočtové analýzy jsou kmitočtová spektra, která obvykle obsahují řadu význačných kmitočtů s přímým vztahem k pohybu různých dílů a součástí. Z přirozených vibrací stroje se musí vybrat ty, které jsou způsobeny nějakou poruchou. [2]

Pro využití frekvenční analýzy v reálném čase se využívá tzv. rychlé Fourierovy transformace (Fast Fourier Transformation, FFT), kdy se získají jen složky harmonické, vyšší harmonické a subharmonické, což je pro analýzu signálů



Obr. 14: Princip rychlé Fourierovy transformace

zcela dostačující. Fourierovou transformací se časový průběh převádí na frekvenční, vzniká frekvenční spektrum. Analýzou frekvenčního spektra pak lze posoudit stav zkoumaného stroje. [6]

Realizace vhodných opatření pro řešení konkrétních problémů nemusí být složitá ani nákladná. Zkušenosti z praxe při řešení závažných problémů prokazují, že náklady na měření a analýzu vibrací jsou jen zlomkem skutečných přínosů pro zákazníka. Diagnostika není pouze včasná výměna předčasně poškozeného dílu, vibrodiagnostika musí zjistit příčiny nadměrného zatížení a předčasného poškození a přispět k jejich odstranění. [2]

Vibroakustické zkoušky spalovacích motorů ve výrobě se během uplynulých let etablovaly pro studené i teplé testy. Pomocí těchto měření lze jistěji odhalovat montážní a výrobní chyby i poškození a nefunkčnosti mnohých komponentů. S úspěchem této metody využívají například některé závody společností Audi, BMW, Daimler, General Motors, Porsche, Volkswagen a další. Cílem metody vibroakustických zkoušek ve výrobě je přiblížit se zajištění výroby a montáže s principem „nulových chyb“. Tento druh zkoušek nabízí možnost rozpoznat abnormální stavy a identifikovat poškozené díly a montážní nedostatky.

Výběr snímačů má trvalý vliv na kvalitu rozpoznávání chyb. Jako vhodné snímače pro zajištění bezpečnosti procesu se jeví laserové měřiče vibrací a snímače zrychlení. Laserové měřiče mají přednost ve značné měřitelné šířce signálu, a především nabízejí možnost bezkontaktního měření, a to i ve špatně přístupných místech nebo u motorů již zamontovaných ve vozech, kdy se laserový paprsek pouze namíří přímo na zkoumanou část motoru. Přednost kontaktních snímačů spočívá zejména v jejich nesrovnatelně nižší ceně, stejně jako v poměrně nenáročné instalaci na místo měření. Další možností je využití měření akustického tlaku pomocí mikrofónů, to je však citlivější na okolní podmínky, vypovídací schopnost tak může poklesnout. Existují rovněž snímače výchylky nebo rychlosti, nejsou však rozšířeny tolik, jako akcelerometry.

Při aplikaci vibrodiagnostiky je nutné brát ohled na možné vibrace, přenášené od okolních strojů. Na pracovišti hottestu je motor usazen na testovací místo spodním víkem motoru přímo bez pružného uložení. V případě, kdy například příruba nezapadne přesně do přípravku v testovací stanici, může dojít k přenosu nežádoucích vibrací a vyhodnocení testovaného kusu jako vadného. Na uložení motoru při testu je tedy třeba se rovněž zaměřit, mohou být nutné úpravy použitím například jednoduchých pryžových pružin k omezení přenosu vibrací.

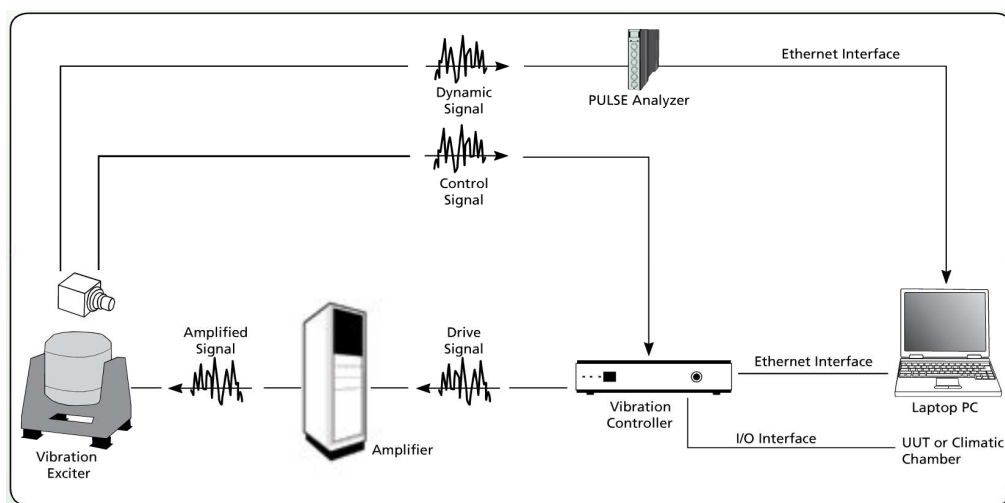
Vibrodiagnostikou lze konkrétně na spalovacích motorech identifikovat například závady tohoto typu:

- poškození a závady ozubených převodů (u 1,2 HTP: vyvažovací hřídel)
- závady řetězového převodu (pohon rozvodového mechanismu, napínák)
- závady rozvodového mechanismu (spadlá či vadná vahadla)
- závady klikového mechanismu (nevyváženost, nepřesnosti, vady povrchu, neutažené spoje)
- poškození vaček (obvykle souvisí s problémy s vahadly)
- nevyvážení klikového hřídele, špatná poloha vyvažovacího hřídele aj.
- chyby v ložiskách (pánve hlavních či ojnicích ložisek)
- závady olejového čerpadla
- některé závady způsobené závažnou chybou pracovníka (např. spadlé díly a cizí předměty v motoru)
- další defekty způsobující abnormální vibrace a hluk [14, 18]

7.2.2 Aplikace vibrodiagnostiky na hottest

Pro zavedení vibrodiagnostiky na pracovišti hottestu je nutné zabývat se potřebnou technikou a jejím umístěním, použitím snímačů (množství, typ a princip funkce) a dále jejich umístěním a uchycením, což souvisí s požadavkem, které potenciální problémy je žádoucí sledovat.

Současné moderní systémy, na obrázku 15 je např. systém Brüel & Kjaer PULSE, sestávají ze snímačů, modulárního analyzátoru, potřebných kabelů a



Obr. 15: Vibrodiagnostický systém Brüel & Kjaer PULSE

počítače. U systému na obrázku je možnost přes řídicí modul přímo na základě měření a vyhodnocení i upravovat a řídit chod stroje.

Použitá technika

K využití vibroakustických měření bude zapotřebí vybavit pracoviště hottestu počítačem (laptopem) s potřebným diagnostickým softwarem pro ukládání a zobrazení vyhodnocení měření, a pro komunikaci se sítí (odeslání dat k uložení). Pro tyto účely stačí počítač/laptop v základním provedení, na grafický nebo výpočetní výkon nejsou kladeny zvláštní požadavky. Podmínkou je pouze USB rozhraní, případně síťové rozhraní (síťová karta) pro komunikaci s analyzátozem a se serverem pro ukládání a případné zpětné vyhodnocování dat.

Další podstatnou součástí vibrodiagnostické techniky je analyzátor. Analyzátor je jednotka, do které jsou svedeny kabely od všech snímačů, v analyzátoru dochází k vyhodnocení měření a zpracování signálu do podoby, jakou je možné odeslat (nejčastěji síťovým rozhraním) do počítače. Je možné přidávat hardwarové moduly a rozšiřovat tak možnosti systému, lze také zlepšovat možnosti softwaru.



Obr. 16: Modulární analyzátor Brüel & Kjaer

Modularitou je dána možnost rozšíření pro další specifická měření a aplikace, jako je například modul pro měření v závislosti na otáčkách nebo software pro kvalitu zvuku nebo lokalizaci zdrojů hluku. Systém je schopen pracovat v reálném čase, což nabízí možnost sledovat výsledky měření a analýzy

okamžitě po změření. To umožňuje kontrolu měření a dat a okamžité určení možných problémů. [9]

Umístění techniky na pracoviště není velký problém, technika není příliš rozměrná ani těžká. Pro účely uvažovaného měření je dostačující menší dvoupatrový stojan o předpokládaných rozměrech přibližně 400 x 500 x 250 mm, případně pojízdný stůl, na kterém by byl umístěn analyzátor a laptop.



Typ a uchycení snímačů

Jednou možností je použití v tomto oboru nejrozšířenějších a také nejlevnějších snímačů – akcelerometrů. Vzhledem k dnešnímu nejběžnějšímu materiálu motorů – hliníkovým slitinám, je zde poněkud problematické uchycení snímačů magneticky. Rovněž nelze předpokládat vhodnost jakýchkoliv zásahů do motoru pro pevné uchycení například šroubovým spojem. Jako možné se proto jeví uchycení snímačů pomocí speciálních lepidel, přípravků na bázi včelího vosku, nebo zubního cementu. Snímač musí na místě bezpečně a pevně držet, musí zachytit a změřit příslušné vibrace, musí však rovněž jít přijatelně snadno a bez poškození odstranit. U těchto způsobů uchycení je možné čidlo odstranit užitím spreje s ředidlem, rozpouštědlem, který lepidlo rozloží. Problém však nastává s teplotou, tato lepidla a vosky běžně neodolají teplotám přes 40°C. Jednodušší uchycení by bylo použitím redukce a dočasným zašroubováním namísto některého funkčně méně důležitého šroubu, v úvahu eventuálně připadá magnetické uchycení na minoritní ocelové díly motoru.

Druhou možností je využít laserové vibrometry. V této variantě vidím značná pozitiva v ušetřeném času opakované instalace a demontáže čidel – laserové vibrometry se prostě umístí ve stanici a jejich další pohyb není nutný, maximálně se mohou kvůli ustavování motoru například odklápět stranou. Nevýhodou laserových snímačů je jejich mnohonásobně vyšší cena.

Volba mikrofónů je zde omezena tím, že jsou vedle sebe umístěna tři pracoviště teplého testu, na kterých se může měřit i současně, a jejich zvukotěsné oddělení nelze vždy zaručit.

V případě volby snímačů je dále nutné rozhodnout o principu funkce podle vztažného bodu, volit lze snímače absolutní, nebo relativní. Akcelerometry jsou obvykle vyráběny jako absolutní snímače, které lze zvolit i pro účely hottestu. Laserové vibrometry bych při vhodném nastavení zvolil jako relativní snímače.

Měřicí body

Zde je nutné zabývat se otázkou, které zdroje vibrací na motoru chceme kontrolovat, kterým závadám z výše uvedených (zjistitelných vibrodiagnostikou) chceme dát prioritu. Například kontrolovat, zda nejsou spadlá vahadla, je pomocí diagnostiky zcela zbytečné. Takový motor totiž po nastartování a rozběhnutí do mírně vyšších otáček bude vydávat tak silný a specifický hluk, že si je obsluha



pracoviště hottestu okamžitě vědoma závady a test přeruší, navíc v takovém případě už stejně dojde k poškození vačkového mechanismu ihned po rozběhnutí motoru. Zde není tedy vibrodiagnostika žádným přínosem.

Vzhledem k použití rozvodového řetězu na motoru 1,2 HTP (a tradičnímu používání rozvodových řetězů na motorech vyráběných ve Škodě Auto) je vhodné zaměřit jeden testovací bod na rozvodový mechanismus, kde lze zjistit a předcházet závadám jako například nefunkčnímu hydraulickému napínáku, špatné montáži rozvodových kol, nekvalitnímu řetězu apod.

Další snímač lze zaměřit na vyvážení a celkový chod klikového mechanismu, kde zejména u motorů po repasním zásahu může dojít k vadám v ložiscích (chybějící pánve), ale zjistit by bylo možné i nesprávné vyvážení, způsobené například špatnou montážní polohou vyvažovacího hřídele. Pokud by v motoru byly spadlé nečistoty, cizí tělesa apod., bylo by rovněž možné takovouto závadu snáze odhalit. Rovněž by se zde kontroloval chod ozubeného převodu klikový hřídel – vyvažovací hřídel především s ohledem na zubové vůle či povrchovou úpravu zubů. Také správnost chodu olejového čerpadla by se ověřovala tímto snímačem.

Požadavky na měření

Výhodou navržené vibrodiagnostiky je, že by nemusel být nijak ovlivňován průběh teplého testu. Časové ovlivnění samotného průběhu testu předpokládám nulové, příprava na test by byla rovněž ovlivněna zcela minimálně, předpokládám maximálně cca 10 s na umístění a kontrolu snímačů. Vibroakustický test by se spouštěl automaticky při spuštění motoru. Ovlivnění doby po testu by bylo přibližně 10-15 s, které předpokládám na základní kontrolu údajů na displeji laptopu a odeslání dat na server (to by mohlo být i automatické). V případě chybového hlášení samozřejmě nelze čas odhadovat.

Pokud se jedná o finanční náročnost návrhu, výsledná cena se podle výrobce, použité techniky (zejména analyzátoru a množství a typu snímačů) a požadavků na měření a vyhodnocovaná data může pohybovat v širokém rozsahu, je nutné počítat s náklady přesahujícími jeden milion Kč. Takto moderní a citlivé přístroje jsou samozřejmě drahé, je zde ovšem možnost dalšího rozšiřování analýzy, zvýšení množství snímačů (pro případ přeplňování, vysokotlaké palivové pumpy apod.), a je zde oprávněný předpoklad snížení nákladů na případné reklamace a vícepráce vzhledem k značnému zlepšení možností včasného odhalení závad i jejich příčin.



Integrace měření na hottest

Integrace zařízení rovněž není příliš náročná, je zapotřebí pouze umístit analyzátor a počítač na stojan na příslušném místě, natáhnout kabely tak, aby splňovaly ergonomické požadavky (nepřekážely v pohybu), a v případě použití laserových vibrometrů umístit snímače. Zde by ovšem bylo zapotřebí snímače umístit na kvalitní konstrukci, izolovanou od vibrací okolí – zejména dynamometru ve stanici, tak aby nedocházelo k ovlivnění měření vibracemi stroje. V případě snímače pro kontrolu rozvodů to není problém, snímač by byl na vzdálenější straně od hřídele zkušební brzdy. V případě snímače umístěného ze strany proti tělesu bloku válců by bylo nutné zajistit například pryžovým uložením držáku snímače izolaci od vibrací dynamometru a příslušenství ve stanici, a navíc by zřejmě bylo vhodné konstrukci držáku snímače navrhnout tak, aby bylo možné držák sklápět kvůli manipulaci s motorem, avšak s dostatečně tuhou konstrukcí pro zamezení ovlivnění měření např. pohybem obsluhy.

Měření vibrací na teplém testu motorů by probíhalo na principu porovnávacího měření, nebyly by nutné příliš komplikované výpočty kmitání, vztažných základů apod. Po umístění snímačů by se pouze v běžném cyklu odbrzdilo několik etalonových, tj. s jistotou dobrých motorů, jejich počet by se zvolil, resp. vypočetl statisticky. Výsledky těchto prvních měření by posloužily jako vzorové hodnoty pro vytvoření tolerančních křivek nebo polí, ve kterých by se následně měly pohybovat výsledky testovaných motorů. Výhodou porovnávacího systému je rovněž mimořádně snadný náběh výroby nového motoru, případně při změnách konstrukce testovaných motorů, opět se pouze provede brzdění několika etalonových kusů, což podstatně šetří čas a prostředky na jinak složité teoretické zkoumání složených kmitů. Ze získaného frekvenčního spektra je však nutné identifikovat budící frekvence jednotlivých zdrojů kmitání, tj. například olejového čerpadla, samotného klikového mechanismu, rozvodového řetězu atd.

7.2.3 Měření vibrací na motoru 1,2 HTP v laboratoři KVM

Pro bližší seznámení s technikou vibrodiagnostiky jsem s pracovníky Katedry vozidel a motorů TUL provedl základní měření vibrací na motoru 1,2 HTP, instalovaném na zkušební stoličce v laboratoři spalovacích motorů KVM. Pro měření byl použit kontaktní akcelerometr s integrovanou elektronikou, analyzátor vibrací Brüel & Kjaer a laptop se softwarem pro analýzu signálu.

Měření proběhlo na motoru 1,2 HTP ve čtyřventilovém provedení, avšak s některými specifiky vzhledem k paralelně probíhajícímu výzkumu na zkušebním stanovišti:

- motor byl provozován na směsné palivo
- motor pracoval při stálých otáčkách i zatížení
- motor byl plně prohřátý
- motor vykazoval určité opotřebení dané svým stářím a častým dlouhodobým provozem při plném zatížení

Provozní parametry motoru při měření:

- | | |
|-------------------------------------|------------------------|
| – otáčky: | 3000 min ⁻¹ |
| – zatížení/otevření škrtící klapky: | 100% |
| – okamžitý efektivní výkon motoru: | 33 kW |
| – okamžitý točivý moment motoru: | 105 Nm |
| – teplota motorového oleje: | 115°C |

Ze získaného frekvenčního spektra, uvedeného v příloze 2, je dobře vidět základní otáčková frekvence 50 Hz, odpovídající otáčkám klikového hřídele 3000 min⁻¹ a nedokonalému vyvážení. Převládající je druhá otáčková frekvence 100 Hz, daná účinkem dynamických sil posuvných hmot v 1. válci (snímač byl upevněn na předním závěsu motoru na zkušebním stanovišti, obrázek 17).

Po provedeném měření by bylo úkolem identifikovat zdroje jednotlivých maximálních výchylek na periodách po 50 Hz a 100 Hz, například u ozubeného převodu výpočtem zubové frekvence z otáček a počtu zubů. Na získaném frekvenčním spektru jsou patrné poměrně silné



Obr. 17: Umístění snímače vibrací na motoru na zkušebním stanovišti v laboratoři KVM TUL



zdroje vibrací na frekvencích 75 Hz, 175 Hz, 225 Hz, 275 Hz, 325 Hz, 375 Hz, 425 Hz, 475 Hz, 575 Hz, 675 Hz a jiné. Na zjištění zdrojů vibrací na těchto a dalších frekvencích bychom se následně zaměřili, stanovili bychom povolené hodnoty zrychlení na jednotlivých frekvencích a mohli bychom vibrodiagnostiku využívat k hodnocení stavu testovaných motorů.

7.3 Význam hottestu pro dlouhodobé sledování kvality

Význam teplého testu motorů nyní spočívá pouze v dodatečné kontrole statisticky stanoveného malého množství motorů, operace je přítomna kvůli ověření funkčnosti motorů po repasi a prověření těch motorů, u kterých je podezření na nějakou závadu, ale nelze ji s jistotou odhalit na jiném testu.

V tomto ohledu je operace hottestu nevýhodná, využívá se pouze ke kontrole provedených činností, jako opravný prostředek, ne však k předcházení závadám nebo k určitému řízení výrobního procesu. Zde se nabízí prostor i pro uplatnění navrhované techniky. Data získávaná ze signálu některých snímačů přes osciloskop (o čemž pojednává bod 7.1) a data, která se získají analýzou frekvenčního spektra (bod 7.2), by se měla z primárního počítače, umístěného přímo na pracovišti hottestu, odesílat po síti a ukládat na serverovém pevném disku. To by umožnilo tyto informace ze statistického vzorku motorů procházejících hottestem porovnávat (na základě výrobních čísel motorů) s daty z dalších kontrolních operací (zejména měření třetího momentu a stanice studeného testu) a s daty o reklamách motorů. Dlouhodobě by se pak daly vyhodnocovat tendence a trendy v kvalitě a funkčních vlastnostech určitých dílů nebo montážních skupin (například při změně dodavatele, konstrukce či materiálu některého dílu nebo jeho části, případně úpravě technologického postupu montáže). Následně by bylo možné předcházet určitým druhům závad, poměrně snadno zjišťovat časové období počátku výskytu dané závady i její základní příčiny, a pružněji tak reagovat při řešení problému.

Těmito změnami by se význam hottestu v toku montážní linky poněkud změnil. Hottest by se stal operací podílející se na řízení montážní linky a kvality výroby i montáže, popřípadě výběru subdodavatelů některých součástí (rozvodový řetěz, vahadla, olejové čerpadlo apod.). Investice do nového vybavení i provozu hottestu by se tak stala efektivnější.



8 Diskuse dosažených výsledků

Z provedených analýz, získaných dat o opravách a reklamách motorů 1,2 HTP a informací od pracovníků společnosti Škoda Auto vyplývají následující výsledky:

- systémy zajištění kvality ve výrobě motorů zaručují vysokou pravděpodobnost zachycení závad, reklamace motorů 1,2 HTP se dlouhodobě pohybují okolo 1%;
- navržené změny v diagnostice na operaci hottestu zahrnují bližší prověření stavu testovaného motoru pomocí snímání signálů z některých snímačů motoru (při znázornění osciloskopem) a použitím akcelerometrů vibrodiagnostické techniky, dále lze navržené změny efektivně využít ke dlouhodobému sledování tendencí v kvalitě výroby a montáže motorů a tím i k následnému řízení kvality.

Z měření vibrací, uskutečněném na motoru 1,2 HTP v laboratoři KVM TUL, lze vyvodit následující závěry:

- provedené měření vibrací může sloužit pouze jako příklad využití vibrodiagnostiky (pro efektivní nasazení této diagnostické techniky je nutné řešit problémy s umístěním a uchycením akcelerometru a provést detailní frekvenční analýzu signálu s ohledem na možné zdroje buzení kmitání).



9 Závěr

Bakalářská práce seznamuje s montáží motorů ve Škodě Auto v Mladé Boleslavi. Věnuje se vlivu kvality provedených prací na funkci nepřepřítaného zážehového motoru, seznámení se s motorem 1,2 HTP 12V a s průběhem montáže tohoto motoru, kdy je zaměřena na kontrolní a testovací operace. Dále se zabývá současnými trendy a technickými možnostmi diagnostiky pístových spalovacích motorů.

Analýzou závad, vyskytujících se na motorech 1,2 HTP (vč. závad při dalších výrobních a montážních postupech u finálních výrobců automobilů) v posledních 12 měsících, společně s analýzou systému zajištění kvality na montážních linkách, byly získány okruhy problémů a závad vzniklých během montáže motoru. K těmto problémům se vážou návrhy změn v diagnostickém vybavení hottestu.

Měření vibrací na motoru 1,2 HTP v laboratoři KVM TUL se uskutečnilo na motoru provozovaném na směsné palivo a při plném zatížení. Výsledky měření tak přímo neodpovídají případným výsledkům měření vibrací na operaci hottestu a nelze je aplikovat jako etalonové měření vibrací. Můžou však sloužit jako dobrý vzor pro postup, použitelný při zavádění vibrodiagnostické techniky na operaci hottestu.

Poslední část práce obsahuje návrh vybavení pracoviště hottestu měřicí technikou, umožňující komplexní sledování správné činnosti motoru. Dále je v práci doporučení zavedení moderní vibrodiagnostiky jako náhrady současné subjektivní diagnostiky a jako doplnění diagnostiky sledováním mechanických projevů motoru. Pro zavedení navrhovaných postupů bude nutné provést větší počet měření na motorech, stanovit vybrané standardní a „mezí“ vlastnosti motoru a vypracovat metodiku pro takovéto testování motorů. Vedle hlukových emisí a vibrací motoru bude zřejmě vhodné sledovat i proměnlivost úhlové rychlosti klikového hřídele motoru v průběhu pracovního cyklu. Těmito změnami by se dosáhlo nejen detailnějšího prověření testovaného motoru, ale výsledky testu by mohly při statistickém sledování charakterizovat vývojové tendence kvality motorů.



Použitá literatura

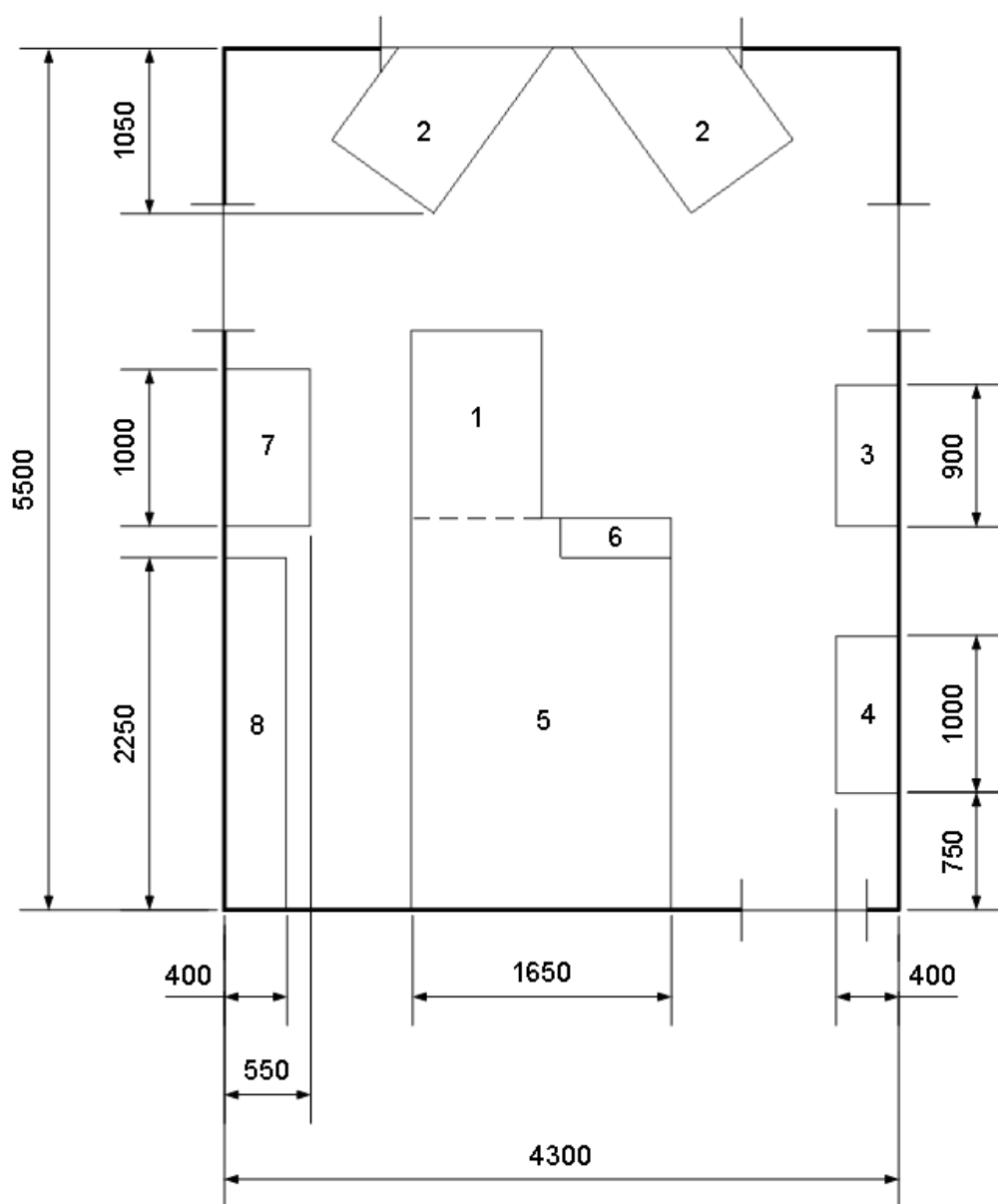
- [1] ASFANDIYAROV, R. *Analýza funkčního stavu nových motorů a jejich výkonových parametrů ve výrobě*. Liberec, 2010. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta strojní. Katedra vozidel a motorů. Vedoucí práce S. Beroun.
- [2] BENEŠ, Š. *Kvalita a spolehlivost strojů a strojních zařízení z hlediska provozních vibrací*. [online]. Část studijního text k předmětu Úvod do strojírenství. Technická univerzita v Liberci. Fakulta strojní. Katedra vozidel a motorů. [cit. 2011-05-23]. Dostupné z: <http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/kap9.pdf>
- [3] BEROUN, S. *Vozidlové motory: Studijní texty k předmětu „Motorová vozidla“*. [online]. Technická univerzita v Liberci. Fakulta strojní. Katedra vozidel a motorů. [cit. 2010-12-12]. Dostupné z: <<http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/VOZMOT.pdf>>
- [4] CINDR, M. *Optimalizace testovacích metod v sériové výrobě motorů*. Praha, 2008. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Technická fakulta. Vedoucí práce B. Kadleček.
- [5] DOHALSKÝ, L. *Snížení pasivních odporů motoru Škoda 1,2 HTP*. Liberec, 2005. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta strojní. Katedra strojů průmyslové dopravy. Vedoucí práce S. Beroun.
- [6] KUKLA, M. *Diagnostické sledování a vyhodnocení technického stavu převodovek elektrických jednotek s cílem zvýšení provozní spolehlivosti*. Pardubice, 2009. Disertační práce. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce M. Lánský.
- [7] MEDAV GmbH. *ANOVIS for end of line-testing and early stage damage recognition*. [online]. [cit. 2011-5-8]. Dostupné z: <http://www.medav.de/ias_anovis.html?&L=2>
- [8] PEJŠA, L. a kol. *Technická diagnostika*. 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 1995. ISBN 80-213-0249-6.
- [9] Spectris Praha spol. s r.o. Brüel & Kjaer - *Přístroje a systémy pro měření a analýzu hluku a vibrací*. [online]. [cit. 2011-5-12]. Dostupné z: <<http://mereni-a-analyza-signalu-hluku-a-vibraci.spectris.cz/>>
- [10] SYRŮČEK, P. *Pasivní odpory motoru Škoda Auto 1.2 a analýza výsledků kontrolních testů ve výrobě*. Liberec, 2004. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta strojní. Katedra strojů průmyslové dopravy. Vedoucí práce S. Beroun.



- [11] *Škoda Fabia. Tříválcové zážehové motory 1,2 l.* Dílenská učební pomůcka č. 45. Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav, 2002.
- [12] ŠTĚRBA, P.; PAPOUŠEK, M. *Diagnostika spalovacích motorů*. 2. aktualizované vydání. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-8-251-1697-5.
- [13] UNIVER, spol. s r.o. *8-kanálový autoservisní osciloskop Autoskop III / Texvik DS*. [online]. [cit. 2011-5-7].
Dostupné z: <<http://www.univer.cz/detail.php?id=1655>>
- [14] Vibro-akustische Prüfung von Verbrennungsmotoren in der Produktion. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*. 2007, zvl. vyd. 11/2007, s. 46-50.
- [15] VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. vydání. Brno: Nakladatelství a vydavatelství vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.
- [16] VLK, F. *Elektronické systémy motorových vozidel, díl 1*. 1. vydání. Brno: Nakladatelství a vydavatelství vlk, 2002. ISBN 80-238-7282-6.
- [17] *Výrobní postupy a dokumentace k montážním linkám a motoru 1,2 HTP*. Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav.
- [18] ZUTH, D.; VDOLEČEK, F. Měření vibrací ve vibrodiagnostice. [online]. [cit. 2011-5-6].
Dostupné z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40375.pdf>>

Příloha 1: Schéma pracoviště hottestu

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 1 – Zkušební stolice | 5 – Dynamometr s příslušenstvím |
| 2 – Příjezd z montážní linky | 6 – Ovládací panel |
| 3 – Pojízdný stolek s náradím | 7 – Skříňka s dokumentací |
| 4 – Vzduchotechnika | 8 – Skříň elektroinstalace |



Příloha 2: Frekvenční spektrum získané měřením vibrací na motoru 1,2 HTP v laboratoři KVM TUL

